

# Réalisation d'un simulateur de gestion de production utilisant MRP ou Kanban

---

Rapport de projet

Juillet 2011

PASTRANA ALONSO, Ana Belén

**Tuteur:** LOSSENT, Luc

---

## Résumé

---

La logistique a pour finalité la satisfaction des besoins exprimés ou latents, aux meilleures conditions économiques pour l'entreprise et pour un niveau de service déterminé. Dans ce projet, nous expliquons dans un premier temps les systèmes de gestion de production que nous appelons systèmes Kanban. Ensuite nous étudions sa différence avec le système MRP. Enfin, nous voyons le fonctionnement du logiciel Arena® afin de pouvoir faire des simulations de production.

D'autre part, à partir d'une simulation faite avec un système physique de reproduction d'une gestion en mode MRP ou Kanban, il s'agit de mettre en place un système de simulation de flux de production permettant de générer des situations industrielles analysables en cours de logistiques.

La simulation a également pour objectifs de permettre aux étudiants de comprendre les évolutions de système de production, ainsi que d'en posséder les tenants et aboutissants (Vente, stock, encours, aléas, incidents, planification, amélioration continue, prise de décision, information des services transversaux).

---

## Resumen

---

La logística es una función cuyo objetivo es satisfacer las necesidades expresadas o latentes, con mejores condiciones económicas para las empresas y un nivel de servicio determinado. En este proyecto, se explican los sistemas de producción, específicamente el sistema de Kanban y su diferencia con el sistema MRP y el funcionamiento del software Arena® para realizar simulaciones de la producción.

Por otro lado, a partir de una simulación con un sistema físico que reproduce la gestión de modo de MRP o Kanban, se trata de crear un flujo de trabajo de simulación para generar situaciones industriales analizables en el curso de la logística.

La simulación también tiene como objetivo permitir a los estudiantes entender los cambios en el sistema de producción, para entender todas sus características (ventas, existencias, activos, los riesgos, los incidentes, la planificación, la mejora continua.).

# Remerciements

---

Mr LOSSENT pour son aide tout au long de la réalisation du projet.

Mme EL HAOUZI pour son aide avec le logiciel Arena® .

Mr SABATER pour son aide avec l'interface Visual Basic.

Mr DKIER pour son aide avec la langue française.

# Table de matières

Résumé .....	1
Resumen .....	2
Remerciements .....	3
Objectifs .....	6

## CHAPITRE 1: LES SYSTEMES DE PRODUCTION

1. Introduction .....	7
2. Le juste à temps .....	8
2.1. Différence entre flux tiré et flux poussé .....	8
3. Le système Kanban .....	10
3.1 Définition .....	10
3.2. Origine .....	10
3.3 Généralités .....	11
3.3 Objectifs de la méthode Kanban .....	11
3.4 Caractéristiques d'une étiquette Kanban .....	11
3.5 Fonctionnement d'une boucle Kanban .....	12
3.6 Types de Kanban .....	13

## CHAPITRE 2: SIMULATION DES SYSTEMES

1. Introduction .....	14
2. Fonctionnement de la simulation .....	16
3. Le Simulateur Arena® .....	17
3.1 Concepts de base .....	17
3.2 Les éléments du modèle .....	17

## CHAPITRE 3: CAS PRACTIQUE: LE JEU KANBAN

1. Introduction .....	19
2. Les produits .....	20
3. Règles du jeu .....	22
4. Les 4 phases de la simulation .....	24

4.1 PHASE I : Méthode MRP .....	24
PHASE II : Méthode Kanban .....	26
Phase III. Mise en tension du flux .....	27
Phase IV : Flux tendu .....	27
5. Les incidents.....	28
6. Nouveau Scenario .....	31
7. Simulation Arena® – Partie logique .....	33
7.1 Simulation MRP .....	34
7.8 Simulation des autres semaines .....	44
8. Simulation Arena® – Animation .....	49
9. Simulation Arena® – Visual Basic .....	51
10. Simulation Arena® – Les incidents .....	52
Conclusions .....	53
Bibliographie.....	54
Annexes .....	55

# Objectifs

---

Ce projet est pédagogique dans le contexte de support à l'enseignement. Son objectif est d'améliorer la réalisation du travail pratique (TP) logistique Kanban dans l'École Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur de Nancy (ESSTIN).

Lors de ce TP, l'élève procède à la simulation d'une usine fonctionnant avec une gestion de la production de type Kanban pendant 8 semaines. Actuellement, la durée de ce TP (4h) n'est pas suffisante pour l'apprentissage de l'étudiant à cause de la simulation physique très longue. Pour cette raison, il est important de donner à l'élève un outil afin de réduire les temps de simulation physique et par conséquent «simuler » les 8 semaines complètes.

L'outil choisi est un logiciel de simulation : Arena®. Nous simulons la même usine avec le logiciel et des fichiers Excel. La simulation doit être pédagogique et l'étudiant doit interagir en permanence avec elle.

En résumé, nous expliquerons dans un premier temps la définition du système Kanban et l'utilité de faire une simulation. Et dans un deuxième temps, le jeu Kanban et la simulation Aréna®.

# CHAPITRE 1 : *Les systèmes de production*

## 1. Introduction

---

Le contexte économique actuel se caractérise par la concurrence qui s'accroît par une multiplication des échanges régionaux, nationaux et internationaux, des produits avec des cycles de vie de plus en plus courts, des besoins de plus en plus restrictifs qui nécessitent sans cesse un accroissement de la différenciation.

Cette nouvelle réalité oblige les entreprises à passer d'une production de masse, à bas prix, destinée à un client standard, à une production de qualité de plus en plus diversifiée. De surcroît, la globalisation des marchés exige de ces mêmes entreprises qu'elles réduisent leurs coûts de fabrication, afin d'offrir un prix de vente concurrentiel et qu'elles accélèrent la commercialisation de leurs nouveaux produits. Ainsi, afin de répondre aux exigences des clients, les entreprises tentent de rendre plus flexibles et plus efficaces leurs méthodes de production. Pour ce faire, plusieurs ont adopté le juste-à-temps appelé JAT .

Plusieurs méthodes ont été développées pour mettre en œuvre le système juste à temps. Parmi ces méthodes, nous trouvons le Kanban qui occupe une place particulière par le compromis idéal qu'il offre du fait de la simplicité de son concept et de son efficacité. Cependant, malgré cette simplicité, il requiert un certain nombre de conditions pour être mis en place efficacement.

En effet le Kanban est l'un des outils conçu au service du JAT, fondé sur la circulation des étiquettes. Dans un atelier de production, cela se traduit par le fait qu'un poste amont ne doit produire que ce qui lui est demandé par son poste aval qui ne doit lui-même produire que ce qui lui est demandé par son propre poste aval et ainsi de suite. Le poste le plus en aval ne devant produire que pour répondre à la demande des clients.

## 2. Le juste à temps

---

Le concept de juste à temps a été développé au Japon au sein de l'usine Toyota dans les années 50 par le célèbre Taiichi Ohno et avait comme motivation principale une élimination des gaspillages à tous les niveaux.

Un système ou une entreprise qui fonctionne en juste-à-temps reçoit ses matières premières uniquement lorsqu'une commande ferme est donnée par un client, fabrique ses produits finis ou semi- finis pour être vendus ou assemblés en produits finis et finalement, livré au client uniquement lorsque ce dernier en fait la demande. L'objectif est donc que le client reçoive le bon produit, en bon état, au bon moment, au bon endroit, en quantité suffisante et à un juste prix.

Le juste-à-temps est donc très différent de la production de masse, qui a pour objectif de fabriquer plusieurs gros lots d'un même produit, lesquels sont par la suite entreposés jusqu'à ce qu'un client passe une commande. La philosophie du JAT repose plutôt sur la fabrication de plusieurs produits en petites quantités afin de mieux répondre aux besoins des clients. Cette philosophie, en fait, s'appuie sur l'amélioration continue de la qualité et de la productivité dans toutes les activités de l'entreprise et est soutenue par deux grands principes, l'élimination du gaspillage, partout dans l'entreprise, et le respect de la personne.

### 2.1. Différence entre flux tiré et flux poussé

- Flux poussé

Nous parlons de flux poussés lorsque la production d'un processus est décidée sur la base d'une anticipation, et non en réponse à une commande passée par l'un de ses processus-clients. Cette anticipation peut être le fruit d'une prévision portant sur des demandes non encore formulées (demande potentielle), auquel cas, nous sommes clairement en production pour stock.

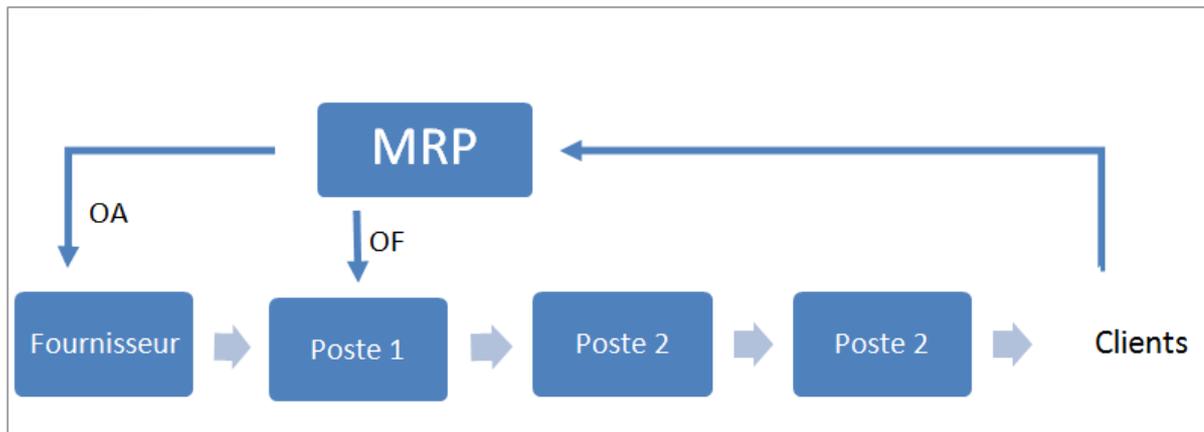


Figure 1. MRP – Flux poussé

### Flux tiré

Production à flux tirés est une philosophie dans laquelle la production d'un composant est déclenchée par la demande effective des centres de production demandeurs de la référence, au lieu de l'être par la demande prévisionnelle de ces centres.

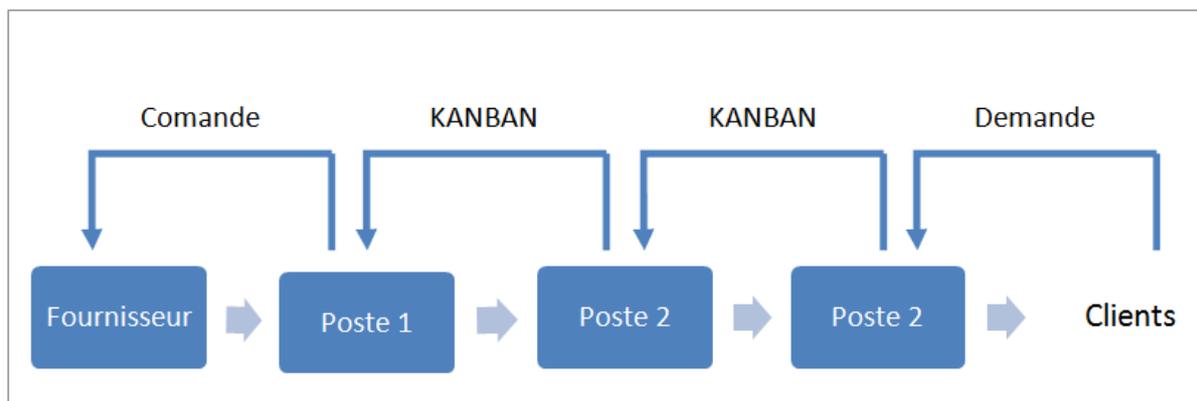


Figure 2. Kanban - Flux tiré

## 3. Le système KANBAN

---

### 3.1 Définition

C'est une gestion de production à stock zéro, mise au point au Japon par les usines Toyota.

Elle est fondée sur :

- L'emploi optimal du personnel,
- La réduction des stocks (par commandes journalières),
- La concertation entre la production et la vente pour assurer une charge constante,
- La qualité du personnel,
- La conception des produits en vue de faciliter leur fabrication
- La gestion centralisée,
- Le principe « SMED » qui consiste à reconfigurer très rapidement l'outil de production en fonction des commandes.

Le Kanban a pour but de définir les modalités de mise en route d'une production en flux tiré, c'est-à-dire dans laquelle ce sont les commandes-clients qui déclenchent automatiquement la fabrication par remontée des ordres depuis la sortie des produits.

### 3.2. Origine

Ce mot serait apparu dans les chantiers navals japonais qui, dans les années 60, demandaient aux aciéries des livraisons tous les 3 jours au lieu d'une par mois. La méthode industrielle a été mise au point plus récemment chez Toyota avec le concours de Taiichi Ohno, qui avait observé dans les supermarchés les employés renouveler sur les présentoirs, les denrées périssables au fur et à mesure de la demande.

De plus, le Japon n'ayant pas de ressources naturelles, l'importation de matières premières coûte chère. Le Japon cherche donc à économiser ses ressources par les Juste à Temps et le Kanban.

### 3.3 Généralités

La méthode Kanban considère que "Fabriquer prématurément est aussi mauvais que fabriquer en retard. Tous les stocks sont des ennemis pour des raisons financière et d'adaptation à la demande".

Dans un atelier de production, cela se traduit par le fait qu'un poste amont ne doit produire que ce qui lui est demandé par son poste aval qui ne doit lui même produire que ce qui lui est demandé par son propre poste aval et ainsi de suite... le poste le plus en aval ne devant produire que pour répondre à la demande des clients.

Dans ce contexte, la production est donc TIRÉE vers l'aval à partir des commandes. Il fallait trouver un système d'information qui fasse remonter rapidement les besoins de l'aval vers l'amont. Ce système d'information porte le nom de système Kanban.

### 3.3 Objectifs de la méthode KANBAN

Les objectifs de la méthode Kanban sont comme suit:

- régler internement les fluctuations de la demande et le volume de production dans chaque section, de façon à éviter la transmission et l'augmentation de ces fluctuations ;
- minimiser les fluctuations du stock de produit fini, ayant pour objectif la réduction des coûts de stockage;
- décentraliser la gestion de l'usine, créant des conditions pour que les cadres supérieurs directs puissent jouer un rôle de gestion effective de la production et des stocks
- produire les quantités demandées au moment de sa sollicitation.

### 3.4 Caractéristiques d'une étiquette KANBAN

Kanban n'est autre que l'étiquette attachée à un bac ou récipient. Il se présente généralement sous la forme d'un rectangle de carton de petite taille. Un certain nombre d'informations sont précisées sur cette carte.

Ces informations varient beaucoup selon les entreprises, mais nous retrouvons des informations indispensables minimales sur tous les Kanban :

- La référence de la pièce fabriquée ;
- La capacité du container, et donc la quantité à produire ;
- L'adresse ou référence du poste amont fournisseur ;
- L'adresse ou référence du poste aval client.

### 3. 5 Fonctionnement d'une boucle KANBAN

La boucle Kanban est le circuit parcouru par les étiquettes d'un système de gestion Kanban. Ce circuit est fermé, les étiquettes ne doivent pas en sortir. Une boucle Kanban est toujours placée entre un client et son fournisseur. Il peut s'agir de deux postes de travail, de deux îlots, de deux lignes ou de deux ateliers.

Le flux physique représente le déplacement des pièces. La méthode Kanban superpose au flux physique un flux d'informations. Nous pouvons représenter cela de la manière suivante:

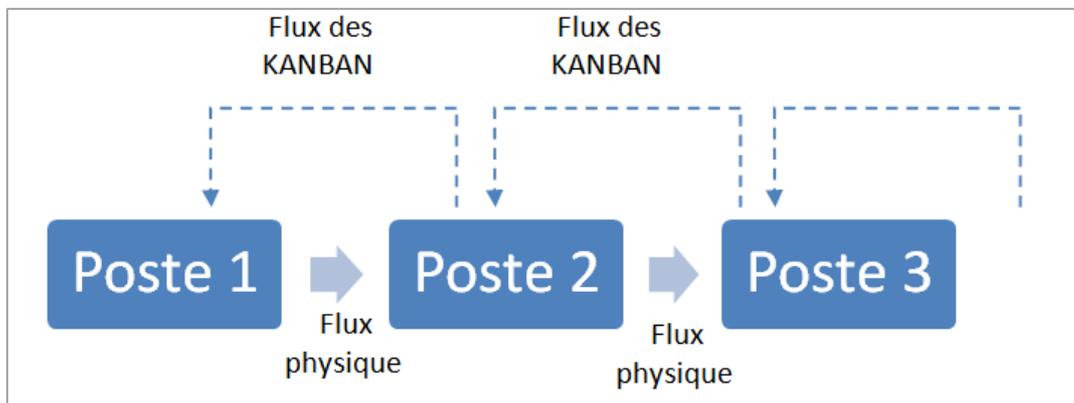


Figure 3. Boucle KANBAN

Ce cas ci dessus est un cas très simple, le poste 1 fabrique, à la demande, des pièces pour un poste 2. Les pièces circulent dans des containers et sur chaque container plein est apposée une étiquette (un Kanban). Devant le poste 2, il existe une aire de stockage. Si le poste 2 a besoin de pièces, L'opérateur prendra un container et retirera le Kanban .Ce Kanban sera rapporté devant le poste 1 et accroché sur un tableau mural dit tableau Kanban. Maintenant il existe un Kanban sur le tableau du poste 1. L'opérateur lance la fabrication de pièces pour remplir un container. Lorsque le container est plein, il arrête la fabrication, retire le Kanban du tableau et l'accroche au container. Le container est replacé en zone de stockage devant le poste 2.

### 3.6 Types de KANBAN

- **Kanban de production**, signale un besoin de production. Ce système fonctionne correctement si les deux postes de travail sont situés proches l'un de l'autre ;
- **Kanban de transfert**, signale un besoin de déplacement des stocks .Ce système fonctionne correctement si les deux postes de travail sont situés loin l'un de l'autre, il est nécessaire d'effectuer une opération supplémentaire de transfert des conteneurs et le déroulement subit alors une légère modification en incluant la notion de Kanban de transfert
- **Kanban générique**, est utilisé dans le cas de référence multiples (nombre de référence supérieur à une dizaine) .C'est aussi le cas des consommations des petits volumes. La particularité réside dans le fait que le nom du produit n'apparaît pas et que l'étiquette est une autorisation immédiate de production. Et c'est le « programme client » matérialisé par exemple par un programme directeur de production qui va nous dire quelle référence produire.

## CHAPITRE 2 : Simulation des systèmes

### 1. Introduction

---

La simulation est un des moyens de modélisation des systèmes complexes tels que les systèmes de production. C'est une technique qui consiste, souvent à l'aide d'un ordinateur, en la construction du modèle d'un système existant, ou que l'on veut concevoir ; dans le but d'analyser son comportement sous certaines conditions. L'un de ses principaux avantages est sa capacité à modéliser des comportements dynamiques au cours du temps.

Le principal avantage pour la simulation est d'avoir profité des avancées du matériel des logiciels informatique. Et même si elle n'apporte pas une solution « analytique » dans la mesure où les résultats ne peuvent pas être exacts, elle permet de travailler sur des modèles réalistes et complexes, qui permettent d'exploiter au mieux sa puissance. Si nous partions du principe suivant : « Il vaut mieux obtenir des réponses approximatives à un problème exact, qu'obtenir des réponses exactes à un problème approximé », nous comprenons pourquoi la simulation est considérée dans certains cas comme bien plus utile et puissante que les approches mathématiques.

Il existe plusieurs manières de développer des modèles de simulation:

- **Langage de programmation** : c'est une approche plutôt lente mais extrêmement versatile. Nous pouvons la comparer à des langages comme le C++ ou le Pascal bien que ces deux logiciels soient plus durs à prendre en main. Nous citons par exemple *SLAM*, *ECSL*, *GPSS*, *SIMSCRIPT*, *SIMAN*.
- **Simulateurs** : une approche facile et rapide grâce à des interfaces graphiques très complètes de nos jours. Ils sont cependant moins polyvalents, car souvent restreints à certains domaines d'application (production, communication). Ex : *Witness*, *ProModel*, *TaylorII*.

Le logiciel *Arena*®, est un mélange des deux autres, dite Hybride. Il a une structure hiérarchisée dans la mesure où nous pouvons distinguer plusieurs niveaux de modélisation que l'ont peut utiliser en fonction de la complexité de ce que nous modélisons. Par ailleurs nous pouvons bien souvent combiner plusieurs de ces niveaux dans un même modèle, en

commençant par les plus hauts niveaux et en descendant lorsque c'est nécessaire, c'est-à-dire lorsque certains éléments sont complexes à modéliser.

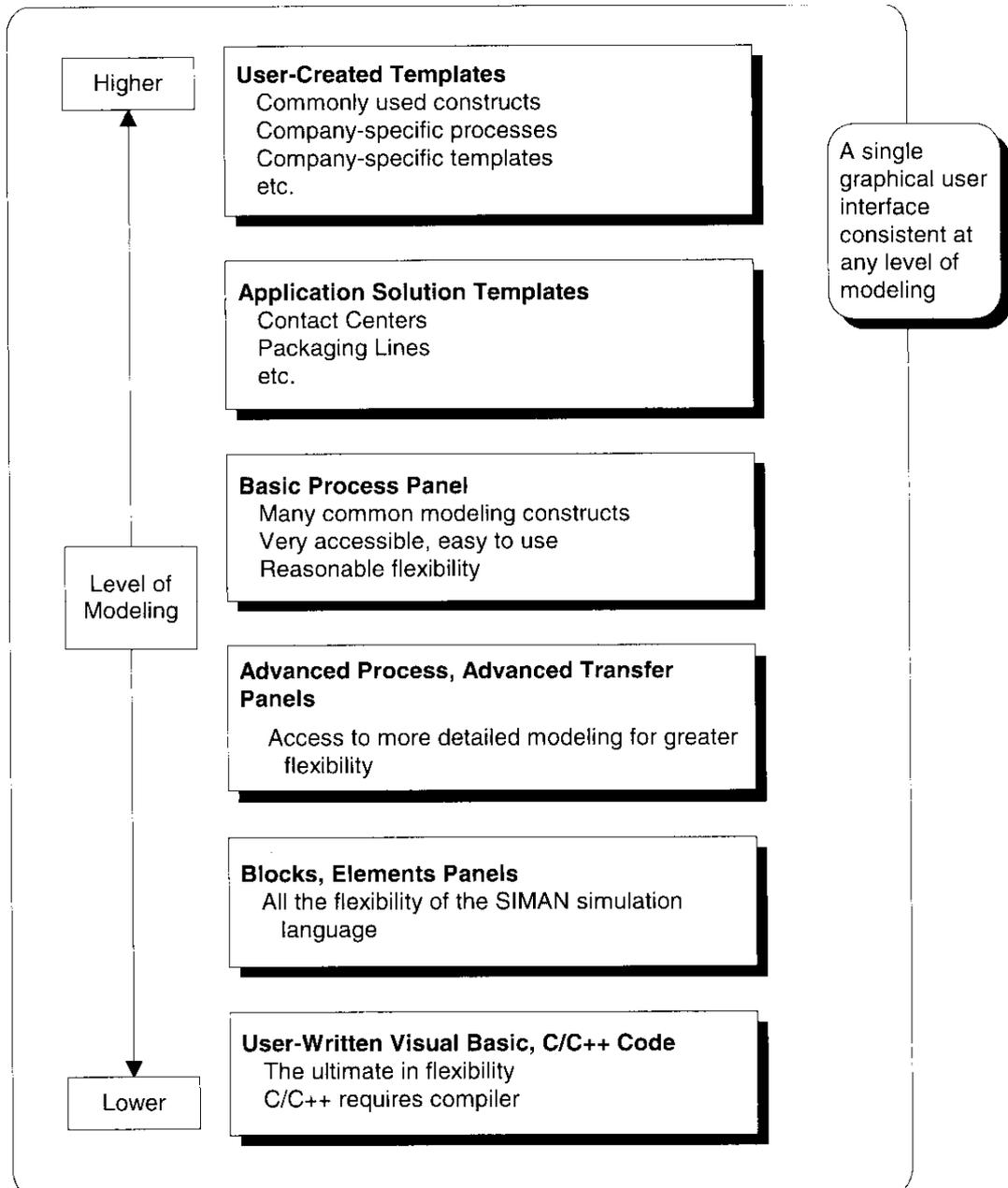


Figure 4. Structure hiérarchique du Arena® . Source: Kelton, D.W : *Simulation with Arena*® .

## 2. Fonctionnement de la simulation

---

La simulation est un des moyens d'observer le comportement temporel (ou dynamique) d'un système. Pour cela il y a des méthodes bien définies pour construire le modèle, mais surtout s'assurer de sa validité. On fonctionne donc en trois étapes :

1. **Modélisation** : À l'aide d'un programme nous construisons un modèle informatique du système à étudier.
2. **Simulation**: Nous faisons fonctionner le modèle dans le but de générer des résultats
3. **Analyse des résultats** : À partir de ces résultats, nous analysons le fonctionnement du système à travers des critères de performance et nous prenons en conséquence des décisions au niveau conceptuel ou opérationnel. Si les résultats ne sont pas satisfaisants alors nous pouvons revoir le modèle.

La construction du modèle fait toujours appel à une forme de logiciel les deux paramètres fondamentaux pour la simulation à temps discret sont les *entités* et les *relations logiques*.

*Les entités* modélisent les éléments tangibles du monde réel, par exemple des machines dans un système de production, ou des informations dans un système de communication. Elles peuvent être : temporaires (des pièces qui passent à travers le système) ou permanentes (des machines qui restent dans le modèle).

*Les relations logiques* relient entre elles les différentes entités, par exemple une machine qui va usiner une pièce. Elles sont un des éléments clé de la simulation puisqu'elles permettent de définir le comportement global du modèle.

Un autre élément clé de tous les systèmes de simulation est *l'exécutif* car c'est lui qui contrôle l'avance du temps. Il vérifie les relations logiques entre les entités et avance l'horloge vers l'instant suivant. C'est l'élément central qui donne son comportement temporel et dynamique au système.

Les deux derniers éléments sont le *générateur de nombres aléatoires* que est utilisé pour obtenir des comportements stochastiques similaires à ceux du monde réel et *Le module de collection et d'analyse des résultats* permet à l'utilisateur d'utiliser l'outil de simulation pour analyser le système sur lequel il travaille.

## 3. Le Simulateur Arena®

---

### 3.1 Concepts de base

Arena® est un logiciel de simulation de flux, il est particulièrement adapté à la simulation des systèmes manufacturiers. Nous allons d'abord s'intéresser aux principes de base de son utilisation.

La notion de base lorsque nous modelisons un système avec Arena® est celle de *flux*, que est le déplacement d'*entités* suivant un chemin donné, et les entités sont l'objet de base qui modélise une entité physique ou informationnelle, c'est à dire tout « objet » se déplaçant dans le système.

Le système sera modélisé par un ensemble de blocs interconnectés qui décriront les flux du système. Le chemin suivi par les entités sera modélisé par une succession de blocs interconnectés dont chacun possède une ou plusieurs entrées/sorties. Lorsqu'une entité traverse un bloc, la fonction qui lui est associée est réalisée.

Au delà de la construction modèle avec les blocs, la partie logique, Arena® présente deux autres aspect important: **l'animation**, nous pouvons parfaitement se contenter de la partie logique, cependant il est bien plus intéressant de pouvoir visualiser et étudier la dynamique des flux dans le modèle. C'est pourquoi Arena® permet d'animer le modèle en représenter par exemple le déplacement des entités dans les blocs, ou même, lorsqu'il y en a, des transporteurs dans un circuit donné. **La programmation en Visual Basic (VBA)**, qui peut permettre simplement d'ajouter des interfaces graphiques pour travailler plus facilement avec les modèles.

### 3.2 Les éléments du modèle

**Entité** : Une *entité* est un objet qui évolue dans les différents blocs fonctionnels constituant le modèle du système. Elle correspond en général à un objet concret, par exemple, une personne ou une pièce dans un atelier. Le déplacement des entités au sein des différents blocs - par exemple le déplacement de pièces dans un atelier - provoque un changement d'état du modèle de simulation.

**Attribut** : Un *attribut* est une variable associée *individuellement* aux entités (la variable est locale) pour représenter leurs états ou des paramètres qui leur sont propres.

**Variable globale** : Une *variable globale* concerne l'ensemble du modèle. Par exemple, la variable *TNOW* (variable prédéfinie dans SIMAN) désigne la date à laquelle se trouve la simulation, c'est le temps courant - mis à jour à chaque avancée dans l'échéancier des événements – s'écoulant durant une simulation du modèle.

**Les ressources**: Les entités réservent les ressources puis les libèrent. Comme par exemple un opérateur de maintenance, une machine ou un convoyeur. Une ressource peut avoir une capacité de plusieurs unités. Nous pouvons également modéliser le non disponibilité de plusieurs manières. Par exemple pour une panne, par une durée de bon fonctionnement et une durée de réparation.

**Les queues**: Elles modélisent les endroits où les entités attendent car elles ne peuvent pas se déplacer, la plupart du temps car la ressource qu'elles veulent saisir n'est pas disponible. Elles peuvent avoir une capacité limitée, ce qui correspond à un espace restreint en capacité dans le modèle.

## CHAPITRE 3 : Cas pratique : Le jeu du KANBAN

### 1. Introduction

---

L'objectif de ce projet est d'expliquer le fonctionnement de la simulation d'une usine et d'aider les élèves à mieux comprendre et rapidement assimiler le système Kanban. Nous présenterons dans un premier temps les bases du jeu Kanban, avant d'entamer dans un second temps l'exposé de sa simulation avec le logiciel Arena®. Ce dernier est nécessaire afin de pouvoir faire les simulations plus rapidement. Une présentation possible pour une meilleure compréhension du jeu figure dans l'Annexe XV.

Le jeu du Kanban est à la fois un programme complet pour enseigner la philosophie du Juste à Temps et un support pédagogique à la technique de pilotage Kanban créée pour *CIPE* (Centre International de la Pédagogie d'Entreprise).

Le guide du Kanban est composé de trois parties, correspondant à trois étapes clés d'un projet Juste à Temps : la première partie est la simulation sur huit semaines de la vie d'une usine, la deuxième concerne les thèmes de réflexion, la troisième et dernière partie aborde quant à elle la conduite d'un projet Kanban.

Le Jeu nécessite au minimum cinq joueurs idéalement : cinq pour les postes de travail de l'atelier et un responsable des ventes. Il est possible de composer des équipes de deux joueurs par poste, ce qui fait alors participer douze personnes.

L'objectif de ce projet est de réduire le temps de développement de ce jeu avec l'aide du logiciel Arena®, mais sans oublier l'objectif pédagogique du jeu. Plus tard, dans ce projet, nous décrirons le scénario final, résultat de la combinaison du jeu avec la simulation Arena®.

#### ***La société Redix***

La simulation du jeu est effectuée sur une entreprise : la société Redix. Cette entreprise fabrique des mécanismes de réduction de vitesse utilisés dans l'industrie de la manutention.

Aujourd'hui, Redix emploie 120 personnes dans son usine de Villeneuve. La production qui fait l'objet du Jeu du Kanban ne concerne qu'un des ateliers de l'usine, en l'occurrence celui qui fabrique les réducteurs de faible puissance.

## 2. Les produits

L'atelier est composé de cinq postes de travail, dont quatre postes d'usinage et un poste de montage. Les participants, réunis autour d'une table, prennent en charge les postes d'un atelier de fabrication de réducteurs. Une possible distribution des postes est représentée sur la figure ci-dessous :

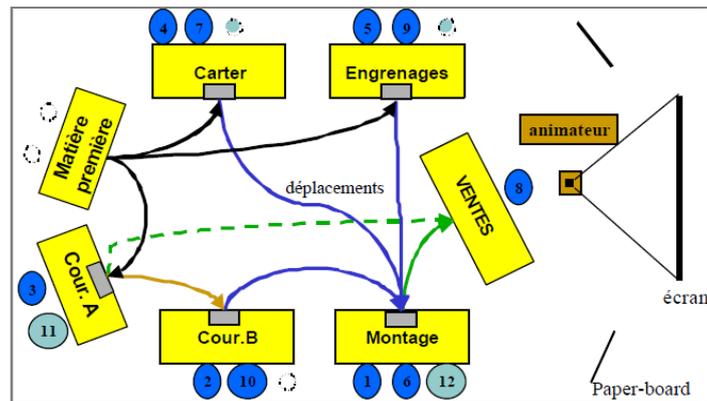


Figure 5 : Possible distribution des postes. Source : CIPE

Un fois les pièces usinées, elles sont rangées dans un magasin de stock qui est situé près de la section de montage. Les couronnes usinées en phase A sont également mises en stock, en attendant d'être prises en phase B. Le stock de produit fini est rangé dans un magasin, à proximité de la ligne de montage.

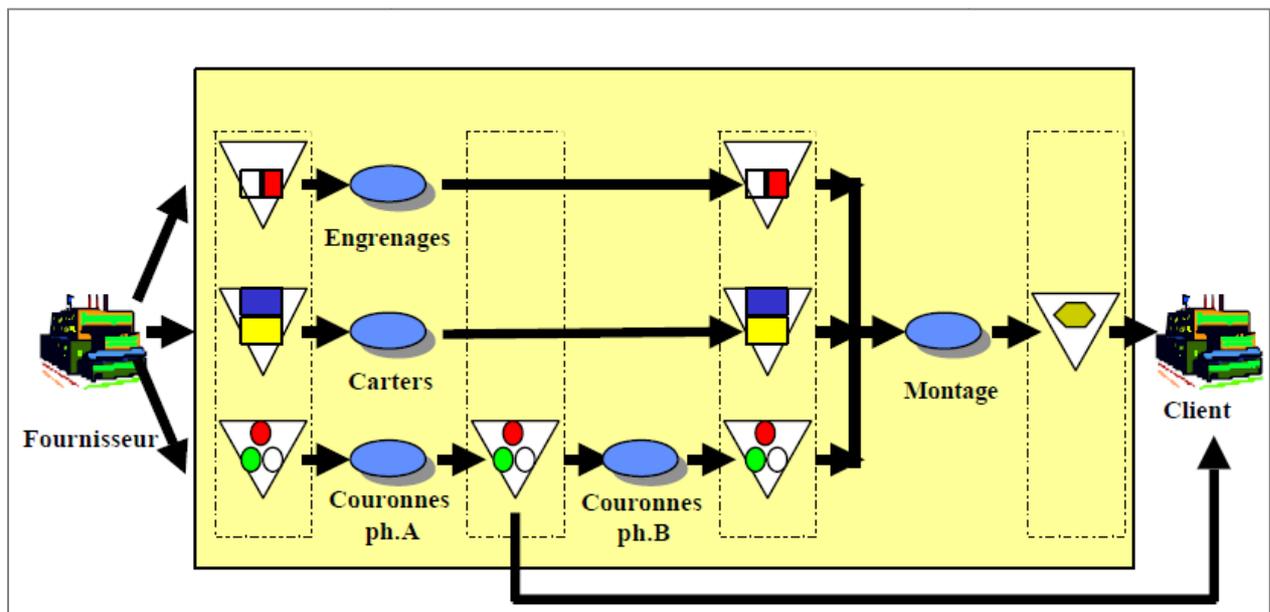


Figure 6: Processus de fabrication. Source: CIPE

Les produits finis existent en 6 références, qui résultent de la combinaison au montage de composants différents. Chaque référence correspond à un rapport de réduction différent.

- **Engrenage** : deux références (jetons : jaune, blanc)
- **Carter** : deux références (jetons : rouge, bleu)
- **Couronne** : trois références (jetons : blanc, vert, rouge)
- **Produits finis** :

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Engrenage	jaune	jaune	jaune	blanc	blanc	blanc
Carter	rouge	rouge	rouge	rouge	bleu	bleu
Couronne	blanc	vert	rouge	blanc	vert	rouge

L'unique pièce de rechange est la couronne blanc en phase A

### *Les machines*

Les cadences normales de travail sont les suivantes :

- Engrenages : 100 pièces à l'heure
- Carters : 100 pièces à l'heure
- Couronnes (phase A) : 200 pièces à l'heure
- Couronnes (phase B) : 200 pièces à l'heure
- Montage : 100 produits finis à l'heure

Pour passer d'une référence à une autre, il est nécessaire de réaliser un changement de série. Les temps de changement de série sont les suivants.

- Engrenages : 3 heures
- Carters : 3 heures
- Couronnes (phase A) : 2 heures
- Couronnes (phase B) : 4 heures
- Montage : 1 heure

Une machine peut être dans trois états :

1. Soit elle produit au rythme indiqué plus haut.
2. Soit elle est arrêtée pour un incident
3. Soit elle est arrêtée sur décision du joueur parce qu'il n'y a plus de travail planifié.

### *La main d'œuvre de production*

L'atelier emploie au total, dans ses cinq postes : vingt personnes, huit heures par jour et cinq jours par semaine. Quand un joueur décide d'arrêter une machine pour des raisons de planning, il peut considérer que la main d'œuvre est réemployée ailleurs.

## 3. Règles du jeu

---

Le jeu comporte cinq postes de travail, plus le poste de responsable des ventes, le nombre de participants pouvant ainsi varier entre six et douze.

- **Durée du jeu** : Un jour pour la simulation mais celle-ci peut être suivie d'une ou plusieurs journées de réflexion en groupe pour tirer le meilleur parti.
- **L'échelle de temps** : L'unité élémentaire de temps est l'heure. Il y a huit heures de travail par jour, cinq jours par semaine. Le pas de simulation est l'heure, le jeu avance d'heure en heure. A chaque pas, il y a soit production d'un container si la machine est en activité, soit arrêt de la machine. Les deux postes usinage Couronnes ont une cadence deux fois plus rapide que les autres postes. Comme dans le jeu ces containers contiennent deux fois plus de pièces, la cadence reste toujours la même.
- **Feuille de poste** : Chaque poste de travail, en début de chaque semaine, a une feuille de poste. Celle-ci est destinée à enregistrer l'activité ou l'inactivité, à noter les ordres de fabrication prévus pour la semaine, à servir de relevé pour analyser la production de la semaine. (Voir Annexe I)
- **Gestion des matières et des stocks** : Les matières sont représentées par des jetons de forme et de couleur différentes. Un jeton représente toujours 100 pièces usinées. Pour faire un produit fini, il faut donc regrouper dans un même container 3 jetons de formes différentes. Les containers d'engrenages et de carters contiennent 100 pièces, soit 1 jeton, mais les containers de couronnes et de carters contiennent 200 pièces, soit 2 jetons identiques.

Les stocks sont rangés dans des magasins prévus à cet effet.

Les approvisionnements sont normalement disponibles, sans limitation de quantité.

A différents moments du Jeu, l'inventaire des stocks est fait par les participants. (Voir Annexe II).

- **Changements de série :** S'interrompre pendant la durée prévue et noter le changement sur la feuille de poste. Si un incident tel qu'une panne machine survient pendant le changement de série, il est considéré comme survenant au démarrage de la nouvelle série. La décision de changer de série est toujours prise par le poste de travail.
  
- **Incidents :** Incident de fabrication ou d'approvisionnement qui surgit de façon aléatoire. A chaque pas du jeu, on lance un dé. Si le résultat est 1 ou 6, il y a un incident et on tire une carte. Sur la carte apparaissent trois conséquences possibles de l'incident, de gravité croissante. Le poste qui a reçu l'incident lance alors une nouvelle fois le dé. Suivant le résultat, la conséquence correspondante est appliquée.
  
- **Conséquences d'un incident :**
  1. Arrêt machine :
    - Immédiat.
    - A exécuter au moment choisi par le joueur mais un délai donné.
    - A exécuter au démarrage d'une nouvelle série.
  2. Pièces rebutées, pour cause de non-conformité. Les pièces sont retirées de leur container.
  3. Retouches et reprises
    - En ligne : Les pièces doivent repasser une nouvelle fois sur la machine (reprise)
    - Hors ligne : Les pièces sont retirées du stock d'en cours pour une durée donnée.
  4. Refus clients :
    - Pièces à refabriquer
    - Annulation de commande
  5. Pièces indisponibles
  
- **Informations :** Evoque des questions d'ordre général à des moments prévus dans le déroulement du jeu.

- **Ventes :** Le responsable des ventes reçoit le dossier de direction qui comprend : la liste des expéditions requises, la liste d'appels aux cartes informations, des données statistiques relatives aux ventes, et à la production. Il enregistre les livraisons incomplètes et calcule le taux de service. (Voir Annexe III)

## 4. Les 4 phases de la simulation

Les 4 phases de la simulation ont été conçues pour permettre une découverte progressive de la gestion à flux tendu. Chaque phase est caractérisée à la fois par ses règles de planification, par la souplesse de changement de série, par le niveau des incidents, et par le profil plus ou moins lissé des expéditions.

Phase	Planification	Souplesse de changement de série	Niveau des incidents	Lissage des expéditions
Phase I	Mrp	Faible	Normal	Non
Phase II	Kanban	Faible	Normal	Non
Phase III	Kanban	Bonne	Normal	Non
Phase IV	Kanban	Très bonne	Réduit	En partie

### 4.1 PHASE I : Méthode MRP

Cette méthode consiste à déterminer à l'avance les ordres de fabrication des composants d'après les besoins prévisionnels de produits finis. Les différentes étapes de calcul susceptibles d'apporter une réponse au problème posé. Les élèves doivent préparer avant de le TP les ordres de fabrication. (Voir Annexe VI)

#### 1. Calcul de besoins bruts

Pour connaître les besoins de fabrication de chaque poste pendant la semaine il faut partir d'un plan de production et calculer les besoins en composants d'après le plan.

Pour faire le plan de production nous devons connaître les statistiques de ventes par semaine. On considère que pour l'année à venir, les statistiques de l'année passée peuvent servir de référence.

## 2. Vérification des possibilités de fabrication

Le calcul des besoins bruts a permis de déterminer les quantités à fabriquer pour la semaine, pour chacun des postes de travail. Il reste encore à s'assurer que la charge de travail de chaque poste est compatible avec la capacité dont il dispose.

## 3. Création des ordres de fabrication

Chaque poste doit déterminer la taille des séries qui seront travaillées. Il faut que cette question fasse l'objet d'une réflexion approfondie, d'abord par équipe de poste, puis en groupe. Ce point joue un rôle très important dans l'évolution des méthodes de planification vers les méthodes juste à temps. Il est donc souhaitable que les participants découvrent eux même, les facteurs qui influent sur ce choix.

- Si les séries sont trop courtes, il y a beaucoup de temps perdu dans les changements d'outils.
- Si les séries sont trop longues, il y a constitution d'un stock d'en cours et de produits finis trop élevé.

## 4. Choix de priorités

Cet ordre est déterminé en général par les degrés relatifs d'urgence des produits, l'urgence étant elle-même liée aux besoins exprimés par le stade aval compte tenu des stocks existants.

### ***Choix du niveau des stocks***

La détermination des ordres de fabrication a été effectuée sans tenir compte des stocks. Pour que la production puisse se faire sans heurts, il faut constituer des stocks, aussi bien entre les postes qu'au niveau des produits finis.

La réflexion relative au choix du « juste » niveau des stocks est intéressante, de nombreux concepts fondamentaux de gestion de production se dégagent à cette occasion. Au cours des dites discussions destinées à fixer le niveau des stocks, nous invitons en général les

participants à découvrir les fonctions essentielles des stocks. L'animateur aidera le groupe à bien cerner les principaux concepts qui sont rappelés dans ce qui suit.

Au début, le stock d'un article est au moins égal à la quantité consommée avant que cet article ne soit repris en fabrication. Le responsable des stocks de produits finis doit constituer du stock pour répondre à une demande irrégulière et inconnue. Le choix du niveau de ce stock apparaîtra dans la discussion comme lié à plusieurs facteurs :

- Un stock pour la taille de lot d'expédition, dépendant de l'écart entre le rythme instantané de production et la demande instantanée pour les ventes.
- Un stock de sécurité, chargé d'absorber l'écart possible entre la production programmée et les ventes réelles pour la semaine, dans le cas où celles-ci dépassent les prévisions.

Est nécessaire de constituer un stock de sécurité pour les incidents de production entre les postes, pour éviter qu'un arrêt sur un poste ne provoque un arrêt immédiat sur le poste aval. Le niveau de ce stock dépend du niveau des aléas prévisibles.

## **PHASE II : Méthode Kanban**

### ***Règles essentielles***

1. Tout container de pièces doit recevoir un Kanban. Cela signifie que, dans la simulation, les containers contenant des pièces usinées ou des produits finis en stock reçoivent des Kanban.
2. Au cours de la fabrication, les Kanban circulent, suivant des modalités qui seront précisées plus bas. Si l'on ne peut plus produire parce qu'il n'y a plus de Kanban au poste, on arrête de produire. Et si des Kanban se trouvent libérés des containers auxquels ils étaient fixés, ils sont placés dans le planning prévu à cet effet.
3. Les Kanban excédant les stocks de containers sont rangés en colonne sur le planning de rangement du poste.
4. Démarre la production.

Durant la phase II, les temps de changement de série ne sont pas modifiés, et le rythme des incidents est sensiblement le même que dans la phase I. S'il y a réduction possible des stocks, c'est grâce à la souplesse de programmation qui résulte de la meilleure adaptation à court terme de la fabrication face aux ventes.

Les participants détectent en général eux-mêmes la nécessité de réduire la taille des séries, principal élément pour réduire le niveau des en-cours.

### **Phase III. Mise en tension du flux**

La phase III est caractérisée par une évolution déterminante, avec la réduction des temps de changement de série, avec la réduction des temps de changement de série, qui permet de travailler des lots de taille plus faible. Cette phase s'achève sur un constat : la mise en tension du flux est très positive sur le volume des en-cours, mais elle accroît la sensibilité aux aléas de production.

#### ***Diminuer le risque d'incidents de production***

L'analyse des incidents et de leurs conséquences permet d'engager une réflexion sur les améliorations possibles. Comme pour le cas de la réduction des séries, la discussion sur la façon pratique de diminuer les incidents en entreprise peut prendre place, soit avant d'entamer la phase III, soit une séance ultérieure.

### **Phase IV : Flux tendu**

La phase IV est caractérisée par trois évolutions :

1. Les incidents de production sont réduits

La façon dont la diminution des incidents s'exprimera dans le jeu est la suivante : Il existe pour chaque poste de travail deux types de cartes : Cartes protection et cartes prévention, les premières ont pour effet de réduire les conséquences de l'incident. Les deuxièmes limitent le risque d'apparition de l'incident.

2. Les changements de série sont plus rapides

Nouveaux résultats de réduction des temps de changements de série, qui passent pour tous les postes en-dessous de 10 minutes. Ces temps étant bien inférieurs à l'heure, ils sont considérés comme négligeables à l'échelle du jeu.

3. Les expéditions sont mieux réparties au cours de la journée

Le flux de production est devenu plus régulier que le flux de l'expédition : c'est donc le phénomène inverse qui se produit. Une répartition discontinue de la demande oblige à constituer des stocks. Ces stocks sont des stocks pour la taille du lot d'enlèvement, exactement comme il y avait des stocks pour la taille du lot en fabrication.

## 5. Les incidents

---

Un des avantages de la méthode Kanban et, plus généralement du principe du « Juste à Temps » est de mettre en relief les défauts qui affectent le système productif de l'entreprise.

Le terme défaut doit être pris au sens le plus large. Il ne s'agit pas seulement de la fiabilité des machines mais, plus généralement ; de tout ce qui fait que la production ne peut pas avoir lieu en raison des divers « incidents » qui la perturbent.

### *Catégories des incidents :*

1. Incidents liés au non qualité.
2. Incidents matérialisés par des arrêts de production dus à diverses causes :
  - a. Les pannes de la machine ou de son environnement direct.
  - b. Les arrêts dus à un manque d'approvisionnement.
  - c. Les arrêts dus à l'absence du personnel.
  - d. Les arrêts dus à les causes diverses.

Dans le Jeu du Kanban, tous les incidents sont détectés, les causes sont connues et les conséquences sont décrites avec précision. Il n'est pas de même en entreprise parce que les incidents qui perturbent la production sont nombreux leurs causes ne sont pas toujours claires, leurs conséquences s'enchevêtrent.

### *Analyse des conséquences et causes*

Le temps joue un rôle important dans les conséquences, plus l'incident est détecté tôt, et plus il est corrigé tôt, plus les conséquences sont réduites. La première action pour réduire les perturbations consiste donc à faciliter la détection et la correction des incidents. On évite ainsi l'aggravation des conséquences de l'incident.

Il est intéressant de mettre en place dans l'entreprise des dispositifs efficaces pour réduire les conséquences des incidents : Mais il est également dangereux de se contenter d'atténuer les conséquences des incidents sans chercher à remédier aux causes. Nous devons choisir entre le confort ou la rigueur.

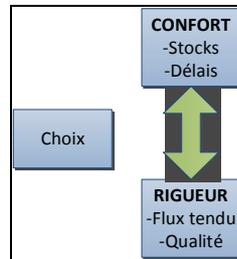


Figure 7. Choix entre confort et rigueur

Chaque type d'incident présente un grand nombre de causes possibles. Avec le diagramme causes effets nous présentons l'avantage de favoriser l'établissement d'une liste complète et hiérarchisée des causes possibles d'un phénomène. (Voir figure 8)

Une fois établies les grandes catégories de causes, il est important de mesurer l'importance des perturbations apparues au cours de la simulation dans chaque catégorie.

Dans une simple classification par causes, le retard de livraison serait, dans un premier temps, imputé au fournisseur ; dans un deuxième temps, au système informatique ; et dans un troisième temps peut-être à la mauvaise conception des bordereaux de saisie des nomenclatures.

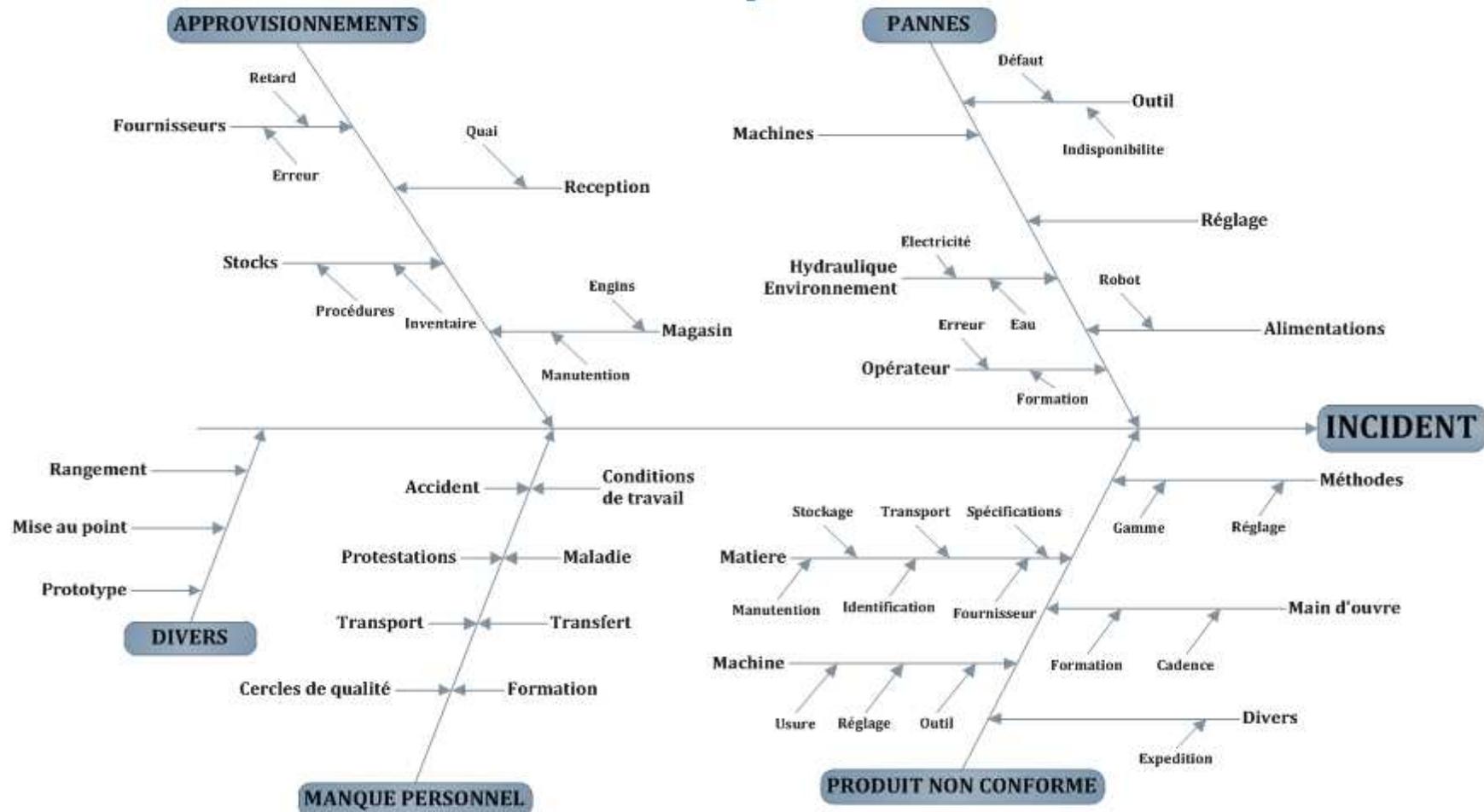


Figure 8: Diagramme d'Ishikawa causes et effets des incidents.

## 6. Nouveau Scenario

---

Maintenant que le principe du jeu est d'expliqué, nous allons décrire le nouveau scénario avec le simulateur Arena®. L'étudiant devra suivre le jeu un nombre donné d'heure pendant chaque phase, « normalement », ainsi qu'un nombre donné d'heures avec la simulation avec Arena®. Ces nombre d'heures sont décidés en prenant en considération l'apprentissage de l'élève.

Pendant la première phase, il est plus judicieux de simuler en 10 heures de manière conventionnelle grâce à la simulation MRP, peu compliquée. Pour cette raison, il est intéressant d'opter pour cette simulation à cette étape et gagner plus de temps pour celle des autres parties à l'aide d'autres simulateurs.

Quant à la deuxième phase, il est crucial que l'élève investisse plus de temps dans la simulation, afin de se familiariser avec le système Kanban qui est loin d'être intuitif. Ainsi, l'étudiant saisira parfaitement son fonctionnement.

Il est intéressant de voir durant la troisième phase que le temps de changement diminue et que les ventes sont reparties dès la deuxième semaine. L'élève devra ainsi prendre des décisions de fabrication plus fréquemment.

Enfin, l'élève pourra, au bout de la quatrième phase, comprendre en quoi consiste le « flux tendu » pendant les dix heures de la première semaine.

Un résumé de chaque phase et ses conditions y figure.

### ***PHASE I: Méthode MRP***

- S1 : 10 heures de simulation + 30 heures Arena®.
- S2 : 40 heures Arena®.
- Calcul besoins bruts (à partir des ventes par semaine).
- Vérification des possibilités de production (Planification avec les changements de série et les possibles incidents).
- Création des ordres de fabrication.
- Choix du niveau des stocks (au moins égal à la quantité consommé avant que cet article ne soit pas replanifié en fabrication). Niveaux de stocks en fonction des possibilités financières.

- A voir décision à prendre après les ventes.
- A voir décision à prendre après les informations

### ***PHASE II : Méthode Kanban***

- S3 : 20 heures de simulation + 20 heures Arena® (A moduler éventuellement en fonction du TP real)
- S4 : 40 heures Arena®
- Choix du niveau du stock initial.
- Vente chaque jour et libération des étiquettes qui seront placées dans le planning prévu des réducteurs. Après choix de l'ordre de fabrication de réducteurs qui sont disposés sur le planning du poste du montage.
- Les temps de changement de série ne sont pas modifiés.
- Valider la valeur du nombre d'heure simulée dans la fourchette proposée.
- Prendre les décisions après-vente.
- Prendre des décisions en fonction des informations requises.

### ***Phase III. Mise en tension du flux***

- S5 : 10 heures simulation + 30 heures Arena®.
- S6 : 10 heures simulation + 30 heures Arena®.
- Choix du niveau du stock initial.
- Réduction des temps de changement de série. (S5H0)
- Améliorations possibles pour diminuer les incidents. (Entretien préventif envisagé : 2 heures/semaine)
- La semaine 6 : répartition des ventes, ventes possibles réparties à chaque heure.

### ***Phase IV : Flux tendu***

- S7 : 10 heures simulation + 40 heures Arena®.
- S8 : 40 heures Arena®.
- Pas de stock initial de produit fini, seulement stock du composants.
- Délai de livraison pour les clients de 3 jours. En connaissant le jour J les besoins des clients, il est possible de fabriquer le jour J+1 et de livrer le jour J+2.
- Temps de changement réduits (S7H0).
- Incidents réduits avec les cartes de protection et prévention.
- Les fabrications sont mieux réparties au cours de la journée.

## 7. Simulation Arena® – Partie logique

---

L'objectif du projet était d'utiliser Arena® afin de modéliser un système de production complexe puis d'effectuer des simulations afin de réaliser les quatre phases du jeu en un temps suffisant pour les étudiants. A l'Annexe XVI il y a un document avec les instructions pour faire la simulation.

Pour faire la simulation avec Arena®, nous avons utilisé les Template de blocs et éléments. Bien qu'ils soient un peu plus compliqués à utiliser, ils donnent plus de flexibilité.

Nous avons décidé de faire huit simulations, à raison d'une par semaine. Ainsi, les paramètres peuvent varier d'une semaine à l'autre (temps entre les ventes, temps de changement, probabilité d'incidents), et les élèves ne devront donc rien modifier au logiciel. Bien qu'il y ait 8 simulations, seul le modèle logique sera différent si nous sommes à la phase MRP ou aux autres.

Toutes les simulations contiennent les cinq parties suivantes :

1. Eléments
2. Postes de travail : Poste de Carter, Poste d'engrenage, Poste de Couronne Phase A, Poste de Couronne Phase B, Poste Montage
3. Demande
4. Animation
5. Résultat

Finalement, les stocks initiaux, stocks finals, pièces en cours, produits non livrés et les ordres de fabrication (en phase MRP uniquement) sont représentés sur un fichier Excel, afin d'obtenir le résultat de la simulation.

Nous commencerons d'abord par décrire la simulation de MRP, ensuite les changements nécessaires pour simuler les autres semaines.

### 7.1 Simulation MRP

Tous les postes ont la même structure : La matière première arrive et le type de pièce est assigné en fonction des ordres de fabrication figurant sur le planning. En ce moment elle entre dans le poste de fabrication, avant d’être transportée dans la zone réservée au stockage de pièces usinées.

Nous distinguons quatre parties : Entrée de pièces, usinage, transfert et zone stockage. De plus il y a une zone de contrôle pour détecter les défauts des pièces.

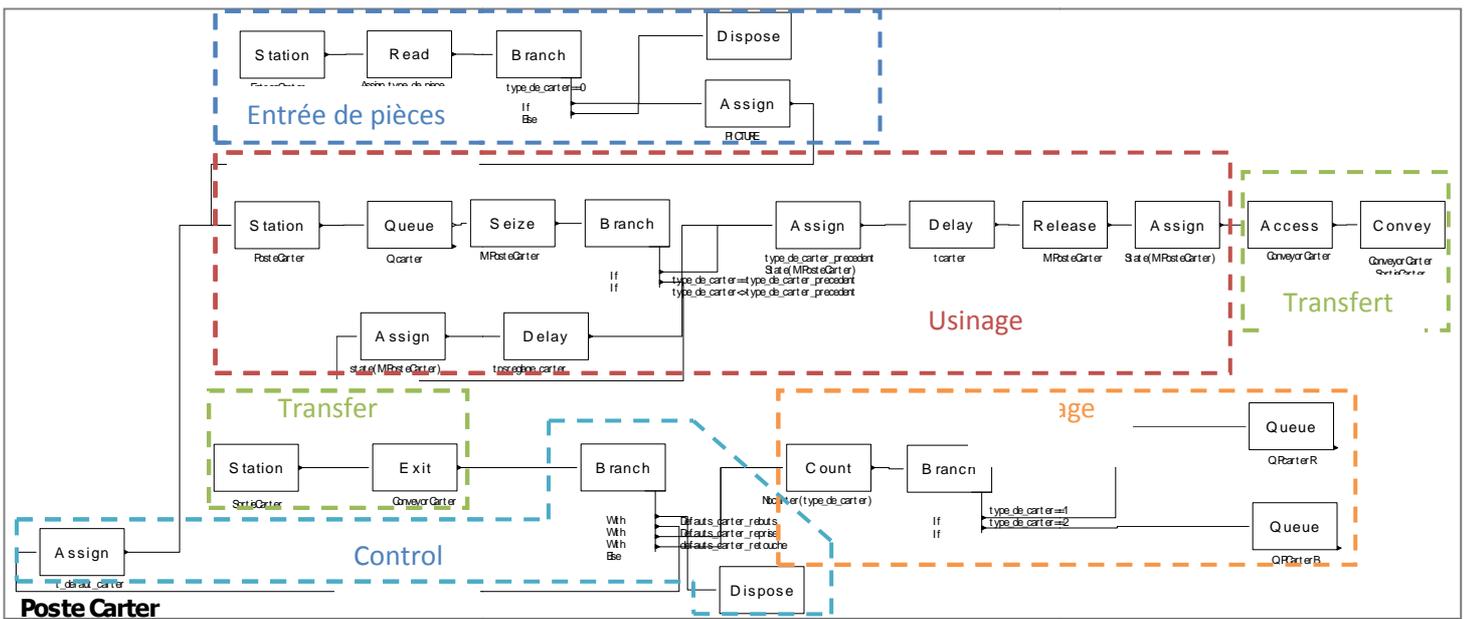


Figure 9. Arena® – Poste Carter MRP

#### Entrée de pièces

Pendant la phase MRP, chaque poste doit déterminer la taille des séries qui seront réalisées. A cet effet, chaque poste dispose de 5 blocs, à l’exception des postes des Couronnes qui en ont 6 de plus.

Arrivals	Files	Attributes	Pictures	Sets
SIR2	Assign_vente	type_de_demande	R2	Img_Reducteur
SIR3	Assign_type_de_piece	type_de_reducteur	R3	Img_CouronneA
SIR4		type_de_CouronneA	R4	Img_CouronneB
SIR5		type_de_CouronneB	R5	Img_Engrenage
SIR6		type_de_Engrenage	R6	Img_Carter
Montage		type_de_carter	R1	
SICouronneBB			CR	
SIR1			CB	
SICouronneBR			CAB	
SICouronneBV			CAR	
SICouronneAB			CAV	
SICouronneAR			CBB	
SICouronneAV			CBR	
CouronneB			CBV	
CouronneA			EB	
EngrenageJ			EJ	
EngrenageB				
Engrenage				
Carter				
SICarterB				
SICarterR				

Figure 10. Arena® - Entrée pièces MRP(Eléments)

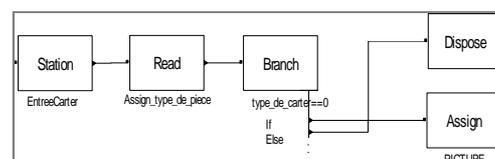


Figure 11. Arena® - Entrée pièces MRP

- Bloc Station – Elément Station - Elément Arrival

Les pièces arrivent à la *Station EntréeCarter* grâce à un élément *Arrival*. Ce dernier recueille toutes les arrivées de chaque poste et les arrivées de stock initial. L'*Arrival Carter* produit une pièce par heure, avec une taille lot de 1. Ainsi, il y a constamment de la matière première disponible. (Mais l'approvisionnement dans la simulation physique ne sera pas toujours disponible.)

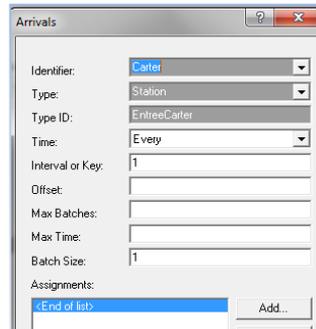


Figure 12. . ARENA® -Elément Arrival

- Bloc Read – Elément Files – Elément Attributes

Les pièces passent après par le bloc *READ Assign\_type\_de\_piece*. Ce bloc assigne à la pièce qui passe son type, si le carter est rouge ou bleu. Le bloc *READ* lit l'information qui se trouve dans le « File ID » qui n'est autre que l'information défini à l'élément *FILES*.

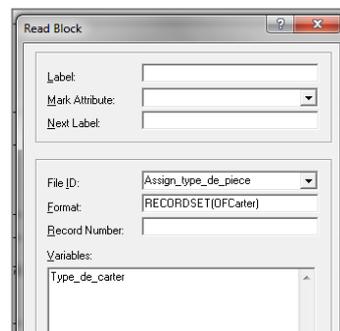


Figure 13. ARENA® - Block Read

- L'élément files contient le chemin pour accéder au fichier Excel. Sur la deuxième feuille du fichier Excel (Voir Annexe VI) nous devons mentionner quel type de pièce nous devons fabriquer, à savoir : type 1, carter rouge ou type 2, carter bleu. Si un quelconque changement est prévu, ou que le poste soit arrêté nous

écrivons un 0. Le type de carter est défini aussi comme les autres type de pièces dans un élément *ATTRIBUTES*.

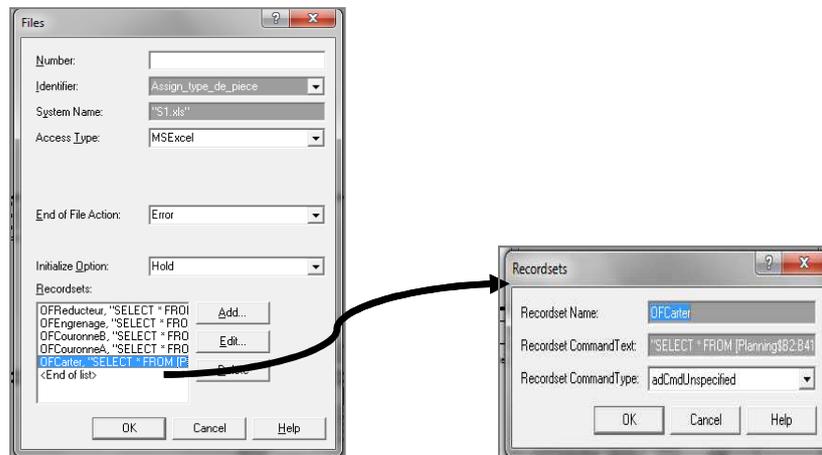


Figure 14. ARENA® - Elément Files

- Bloc Branch– Bloc Dispose – Bloc Assign

Ce bloc sert à envoyer au bloc *DISPOSE* les types de pièce avec la valeur d'attribut égal à zéro. Comme le bloc *ARRIVAL* accueille constamment des pièces, et il y a des moments en lesquels il n'y a pas de pièces à produire. Des pièces doivent être alors éliminées. Celles avec l'attribut *type\_de\_carter* différent de zéro, continueront le chemin pour être produites.

- Bloc Assign – Elément Picture - Element Set

Le bloc *ASSIGN Picture*, assigne le dessin du type de carter à la pièce qui passe. Le dessin est enregistré dans un élément *Picture*. A travers le menu *Edit* → *Entity Pictures*, nous pouvons ajouter le dessin de chaque type de pièce. Plus tard, quand nous parlerons de l'animation, les dessins seront expliqués.

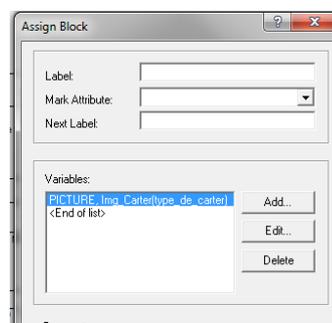


Figure 15. ARENA® - Block Assign

Tous les éléments *PICTURE* sont enregistrés sous un nom commun pour pouvoir après les invoquer d'un seul appel. Par exemple, l'élément SET *Img\_carter* ci-dessous est composé de deux parties: Le dessin du carter rouge (CR) et le dessin du carter bleu (CB).

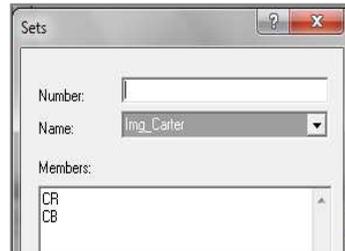


Figure 16. ARENA® - Elément Set

Les postes du Couronnes (Phase A et Phase B) ont deux blocs de plus, comme nous l'avons bien souligné un peu plus haut.

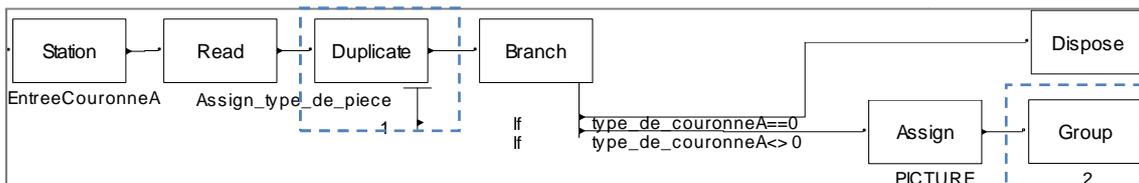


Figure 17. . Arena® - Entrée Couronnes

- Bloc Duplicate – Bloc Group – Bloc Split

Les containers de couronnes ont une capacité de 200 au lieu de 100 pour les autres postes. Si nous voulons intégrer de la même manière dans le fichier Excel les ordres de fabrication, nous avons besoin du bloc *DUPLICATE* pour créer une autre pièce identique.

Le bloc *GROUP* forme des groupes de deux pièces de manière temporaire. Nous pourrons ainsi les séparer pour son assemblage.

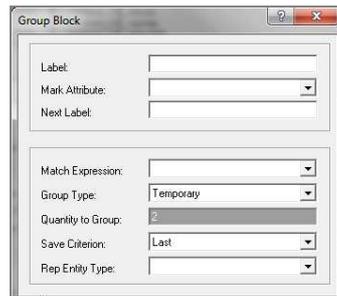


Figure 18. Arena® - Group Block

### Usinage de pièces

L'usinage de pièces est valable pour les mêmes blocs, et les éléments dans tous les postes.

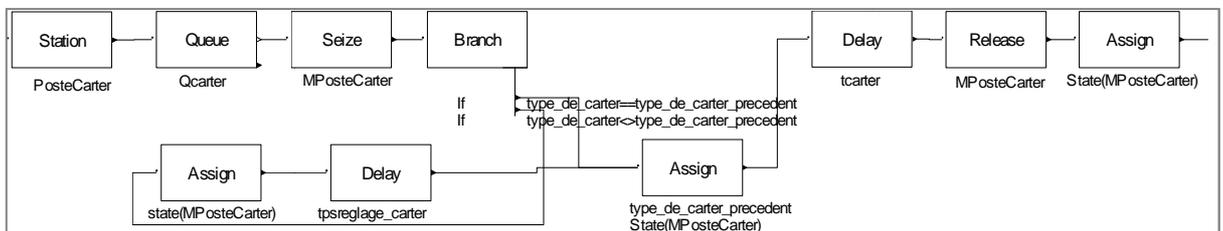


Figure 19. Arena® – Usinage

Resources	Statesets	Expressions	Variables
MPosteCarter MPosteMontage MPosteCouronneA MPosteCouronneB MPosteEngrenage	Etat_machine	t_retouche R tCouronneA tCouronneB tcarter tEngrenage tMontage tpsreglage_Montage tpsreglage_CouronneA tpsreglage_CouronneB tpsreglage_Engrenage tpsreglage_carter	type_de_reducteur_precedent type_de_CouronneA_precedent type_de_couronneB_precedent type_de_Engrenage_precedent type_de_carter_precedent

Figure 20. Arena® - Usinage pièces (Eléments)

- Élément Ressource- Élément Statesets

Nous disposons de quatre postes de production et un poste d'assemblage. Ceux-ci ont chacun une machine à produire, appelé dans la simulation *MPosteCarter*, *MPosteEngrenage*, etc. Ces machines sont définies dans l'élément *RESSOURCE*.

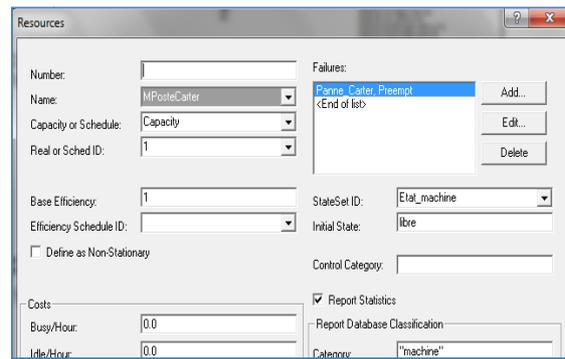


Figure 21. Arena® - Elément Resource

On a différents états possibles pour les ressources définies dans l'élément *STATESETS Etat Machine*. Ces états sont assignés avec l'élément *ASSIGN*. La source peut être :

1. En réglage : Il faut un changement de série pour continuer.
2. Occupé : La source est en train de fabriquer la pièce.
3. Libre : La source n'a aucune tâche à accomplir.
4. En panne : La source est arrêtée à cause d'un incident au poste. Cet état dépend incidents possibles et sera expliqué plus tard.

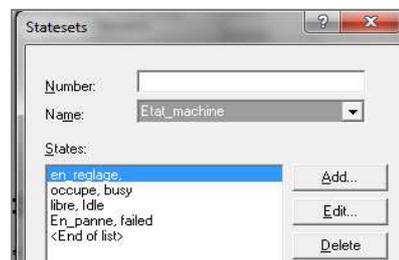


Figure 22. . ARENA® - Elément Statesets

- Bloc Seize – Bloc Release

Lorsqu'une entité arrive au bloc *SEIZE MPosteCarter*, la source liée au bloc *SEIZE* devient occupé et rien ne peut y accéder jusqu'à ce que la même entité passe par le bloc *RELEASE MPosteCarter*, laissant ainsi la source libre. Si l'entité ne peut pas occuper la source, elle est mise en attente juste avant le bloc seize.

- Bloc Branch – Elément variable

Le bloc *BRANCH* vient après le bloc *SEIZE*. Celui-là sert à savoir si le type de la pièce qui va être produite est le même que le dernier produit. Si ce n'est pas le cas, un changement de série est nécessaire. Pour cela, nous disposons d'un élément variable

*type\_de\_carter\_precedent*. Cette variable est mise en place chaque fois qu'une pièce est fabriquée.

- Bloc Delay

Celui-là est utilisé pour simuler le temps nécessaire pour que l'entité reste en un état. Il y a deux blocs : le premier pour le temps de changement de série, et le deuxième pour le temps de fabrication. Ces temps sont variables, et par conséquent, se trouvent dans l'élément variable.

### Transfert des pièces

Le transfert des pièces est aussi valable pour tous les postes et simulations. Il transporte les pièces du poste montage à la zone de stockage.

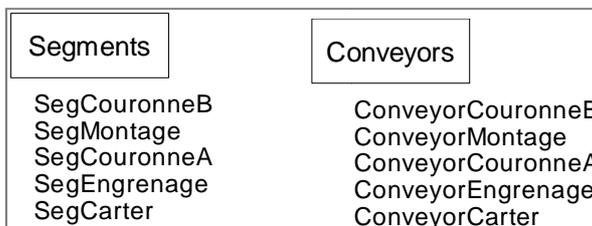


Figure 23. Arena® - Transfer( Eléments)

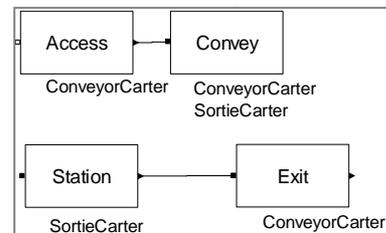


Figure 24. . Arena® – Transfert

- Élément Segment

Cet élément définit les segments composant le chemin du convoyeur. Le « chemin de convoyeur » est une série de segments connectés entre eux. Chaque segment représente le lien direct entre deux stations. Dans le cas du carter, *SegCarter*, le segment *EntreeCarter* – *PosteCarter* a une longueur de 0, tandis que le *PosteCarter* - *SortieCarter* est de 10 mètres

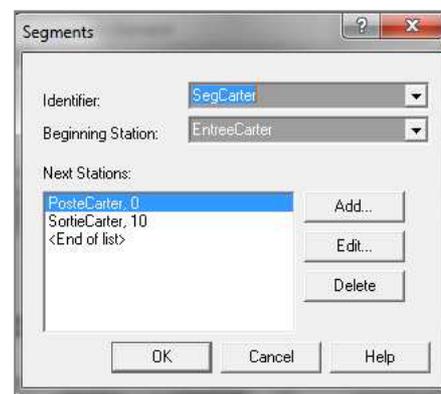


Figure 25. Arena® - Élément Segments

- Élément Conveyor – Bloc Convey

Nous définissons les caractéristiques des convoyeurs de chaque poste dans le modèle, grâce à cet élément. Pour le définir, il est nécessaire de déterminer le segment que le convoyeur va suivre, ainsi que sa vitesse. Comme le temps de transfert est d'une heure, la vitesse est égale à la longueur du segment. Le bloc *CONVEY* nécessite l'usage du convoyeur et de la prochaine station. Notons qu'il est nécessaire d'accéder aux convoyeurs et en sortir par la suite parce que la capacité du convoyeur est unitaire: il ne peut transporter d'autres pièces en cas d'occupation. C'est pour cette raison qu'il y a aussi des convoyeurs comme postes dans la simulation.

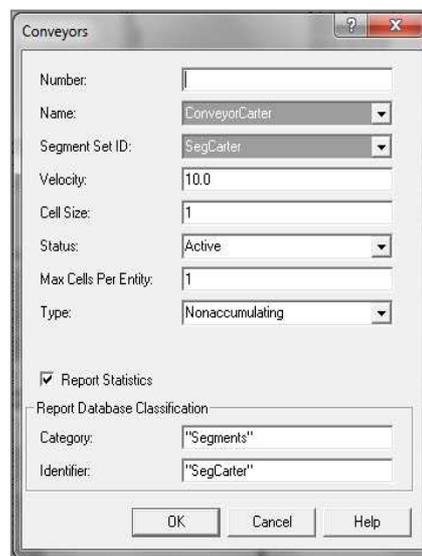


Figure 26. Arena®-Elément Conveyors

### ***Zone de contrôle***

Ce groupe de blocs reste toujours le même. Le dossier de direction du jeu Kanban indique la quantité de défauts possibles en chaque type de pièce et leurs causes (Voir Annexe VII). Grâce à ces données, le bloc *BRANCH* détermine si la pièce contient un défaut ou pas. Les types de défauts peuvent être de type rebut, retouche ou refuse.

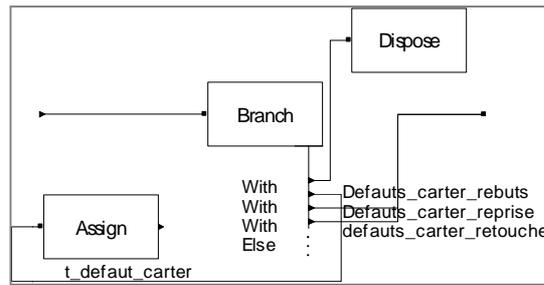


Figure 27. Arena® - Zone de control

Si la pièce doit être rebutée, elle est envoyée directement au bloc *DISPOSE*. Sinon, si elle est reprise, elle est renvoyée à la station de PosteCarter, et une variable enregistre le temps de défaut, *t\_defaut\_carter*, (1 heure chaque reprise). Par contre, si la pièce doit être retouchée, elle est aussi envoyée directement au bloc *DISPOSE*, puisque la retouche est hors ligne.

### Zone de stockage

Dans le jeu Kanban, une zone est destinée au stockage des pièces usinées, et une autre sert à accueillir les produits finaux. Dans le logiciel, ces zones sont représentées comme des queues de pièces. Un bloc de décision, *BRANCH*, partage les pièces de chaque type en leurs respectives queues. De plus il y a un bloc qui compte la quantité de pièces de chaque type en sortant du poste. Dans le cas des couronnes, il faut installer un bloc *SPLIT* pour les séparer avant d'accéder au *Branch*.

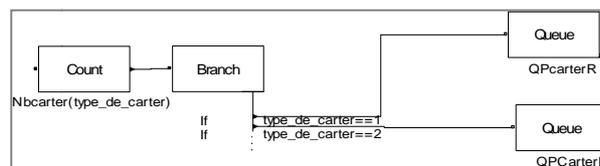


Figure 28. . Arena® - Stockage de pièces

Par ailleurs, le stock arrive initialement aux queues. L'utilisateur l'introduit dans la feuille *EXCEL* en l'appelant « *SI* » (pour stock initial) (Voir Annexe IV). Ceci est possible grâce à l'élément *ARRIVALS SICarterR*, *SICarterB* qui envoie la quantité écrite au batch size. Il s'agit d'une variable *SICarterRouge*, liée directement à la queue à l'instant 0 (Time : First). Cet élément assigne aussi le type de carter et le dessin.

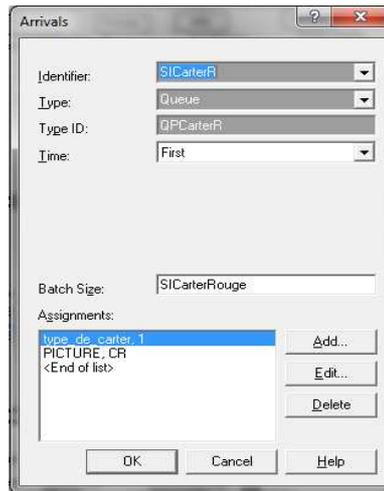


Figure 29. . Arena® - Elément Arrivals

### Poste Montage

Ce Poste est légèrement différent des autres, puisque ce n'est pas un poste de production, il est donc un poste d'assemblage : il a besoin des autres pièces pour fonctionner. Dans la simulation, les entités arrivent de la même manière que dans les autres postes, mais quand on monte un réducteur, un carter, un engrenage une Couronne, ils doivent disparaître de leurs queues. Pour ce faire, nous pouvons procéder de deux manières :

Le premier fait appel au bloc *PICK UP*, il rassemble l'entité qui se trouve dans la queue et l'ajoute à celle l'entité qui en est déjà passée. Il maintient ainsi les deux entités et les sépare avec un bloc *SPLIT* avant d'arriver au bloc *DISPOSE*.

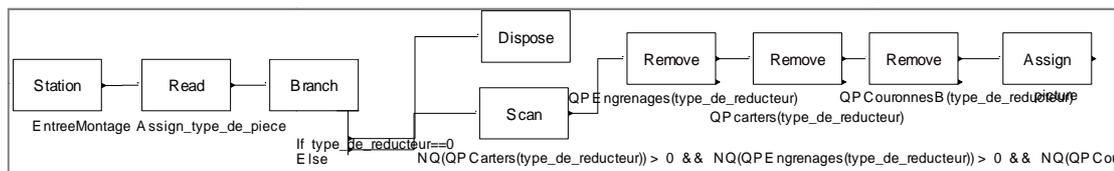


Figure 30. Arena®- Entree Montage MRP

Le bloc choisi pour la deuxième méthode est le bloc *REMOVE*. Celui-là élimine l'entité de la queue définitivement. Il ne reste plus qu'une entité dans le système, et il n'est plus nécessaire de les séparer après.

De plus, il faut s'assurer qu'il n'y a plus de pièces usinées dans les queues. C'est la fonction du bloc *SCAN*, qui ne laisse pas passer les pièces jusqu'aux trois queues. Pour

les Couronnes Phase B elles fonctionnent également mais juste pour capturer les Couronnes phase A.

### La Demande

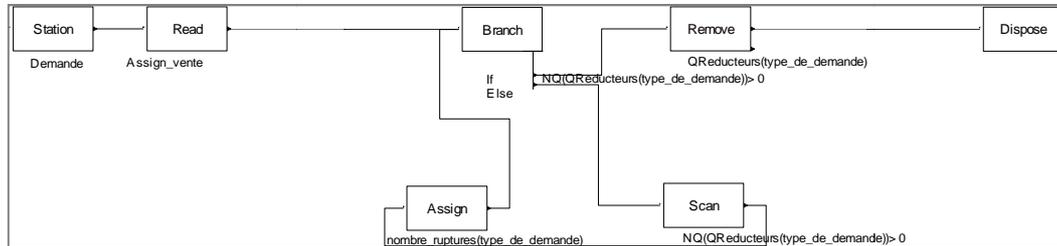


Figure 31. Arena® - Demande (MRP)

La Demande des réducteurs est la même que celle qui se trouve dans le dossier de la direction (Voir Annexe VIII). Elle se trouve dans un fichier Access et non dans le même fichier Excel avec l'objectif que les participants ne connaissent pas. (Voir Annexe XIX). Tels les ordres de fabrication, la demande arrivera aussi avec un bloc Read.

Le fonctionnement est pareil à celui des réducteurs ou des couronnes phase B. S'il arrive une demande de R1 un *BRANCH* décide s'il y a R1 à la queue de produit fini R1. S'il y a il est éliminé de son queue. Si pour le contraire, il n'y a pas, la demande de R1 attende (a cause de le bloc SCAN) jusqu'à le poste Montage fabrique un. Le bloc ASSIGN après enregistre le nombre de ruptures, si la demande n'a reste pas dans le système il n'y a pas de rupture, d'autre façon il y a.

Pour faire simplifier le logiciel, nous avons considéré la demande de Couronnes blanches phase A comme le type de demande 7, et dans l'élément *SET QReducteurs* la septième ligne est la queue de Couronnes phase A.

## 7.8 Simulation des autres semaines

A la différence de la simulation de la phase MRP, maintenant ils n'existent pas d'ordres de fabrication. Les postes fabriquent suite à ce qu'il parvient des étiquettes au tableau de planning. C'est ce que nous allons d'ailleurs à ce point : comment sont libérés ces étiquettes et comment arrivent-elles aux postes.

### La demande

La demande arrive également au logiciel grâce au fichier Excel et le bloc *READ*. Mais maintenant il ne reste que deux dans les queues : une pour les réducteurs et l'autre pour les Couronnes Phase B.

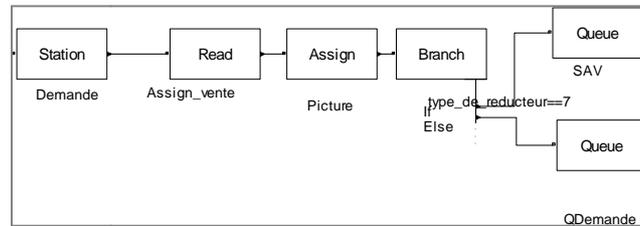


Figure 32. Arena® - Demande (Kanban)

Ces queues, ont une étiquette (label) qui les identifie. Dans ce cas, la queue *QDemande* est identifiée par ses propriétés pour le label *Q\_demande*. Ce label sera très utile dans le bloc *MATCH* par la suite.

### La libération des étiquettes. Bloc *MATCH*

Quand une demande parvenant du réducteur arrive à la queue *QDemande* et un réducteur du même type est en queue de la zone de stockage de produit fini, le bloc *MATCH* synchronise leurs progrès. C'est à dire si il y a un R1 dans la queue *QDemande*, et non dans la queue de réducteurs *Qreducteurs*, le R1 de la queue *QDemande* reste stable jusqu'à un l'arrivée d'un R1 à la queue du réducteur. A ce moment les deux entités passent pour le bloc *MATCH* : chacune une pour sa branche. Ceci est possible grâce au fait que dans le bloc *MATCH* il y a le match *Attribute* et dans ce cas c'est le *type\_de\_reducteur*.

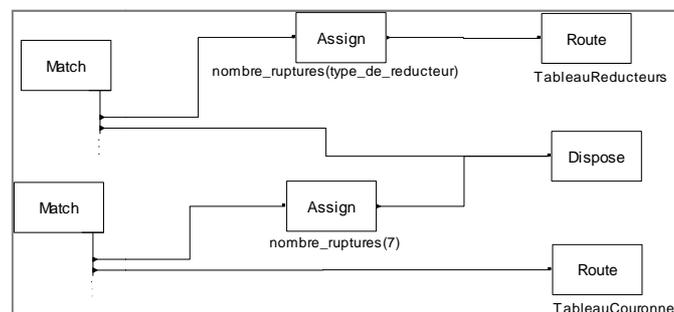


Figure 33. Arena® - Libération des étiquettes des produits fini

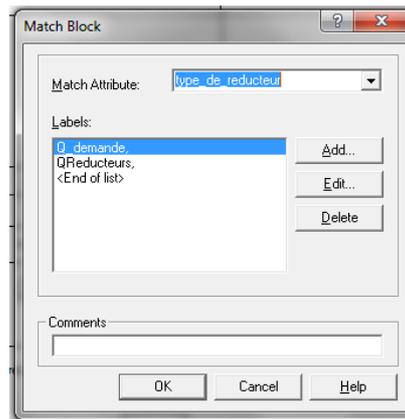


Figure 34. Arena® - Block Match

La fonction du deuxième bloc *MATCH* est pareille, mais dans ce cas on opte pour les Couronnes Phase A Blanches. Ce bloc synchronise la queue SAV de la demande avec la queue de Couronnes Phase A *QPCouronneAB*. Comme il synchronise seulement un type de couronne, il n'est pas nécessaire de spécifier le type de couronne. Pour simplifier, comme dans le cas MRP, nous avons considéré le type de demande de SAV comme le  $type\_de\_demande = 7$ .

Quand les entités sortent du le bloc *MATCH* pour le branche du demande, la première des deux, ils arrivent à un bloc *ASSIGN* qui calcule et prévoit ou pas, la rupture. Ceci est faisable grâce à une variable nombre de ruptures qui enregistre le nombre de ruptures. Pour calculer ce nombre, le bloc assigne le temps d'arrivée de la demande au système et le temps de sortie. S'il est différent, le nombre de ruptures devient nombre de ruptures + 1, sinon, il reste égal à lui même. Au cas de la semaine 7 et 8, il y aura rupture quand le retard de livraison soit plus grand que deux heures.

Finalement une de les deux branches, n'importe laquelle, est envoyée aux stations et au Tableau de le poste Montage et de le poste Couronnes Phase A. C'est cette action qui simule la libération des étiquettes de production. L'autre branche dispose simplement l'entité.

### ***Entrée Poste Montage***

Une fois qu'une demande de réducteur est livrée et une étiquette est alors envoyée à la station *TableauMontage*, elle arrive au poste Montage. D'abord on a besoin d'enregistrer le nombre d'étiquettes se trouvant dans le tableau. Ceci est possible parce

que juste après le bloc station, il y a un bloc *ASSIGN* pour la variable niveau d'étiquettes de réducteurs, *niveauR*, qui est une variable matrice avec 6 lignes (6 réducteurs).

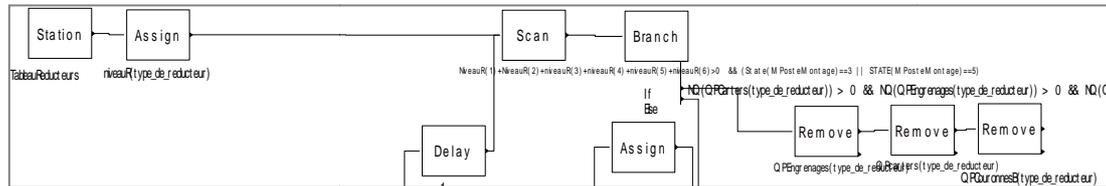


Figure 35. Entrée Montage (Kanban)

Ensuite, le bloc *SCAN* regarde s'il reste encore quelques étiquettes, c'est-à-dire si le *niveauR* de quelque réducteur est différent à zéro. Si oui, y a le bloc la laisse alors passer au bloc suivant.

Après le bloc *SCAN* il y a un bloc *BRANCH* pour savoir si les pièces usinées sont disponibles. Au cas où il n'était pas, l'état du poste devient en manque d'approvisionnement et ils vont à un block *DELAY* d'1 heure. Ainsi, si les pièces usinées du prochain réducteur sont disponibles, il pourra être fabriqué.

Maintenant il faut fabriquer le réducteur : la manière est presque la même que dans le cas MRP. La seule différence qu'il y a c'est que Les blocs *REMOVE* envoient les entités aux stations Tableau Poste Carter, Tableau Poste Engrenage et à un bloc *BRANCH* du Poste Couronne B au lieu de les jeter aux blocs *DISPOSE*. C'est là la manière de libérer les étiquettes pour fabriquer des pièces usinés. Ces entités seront les entités d'entrée à chaque poste.

### Entrée Poste Couronnes

Nous schématisons ici ce poste, ainsi que le Poste Carter.

Le Poste Engrenage ne diffère du MRP qu'à la manière d'arrive des entités.

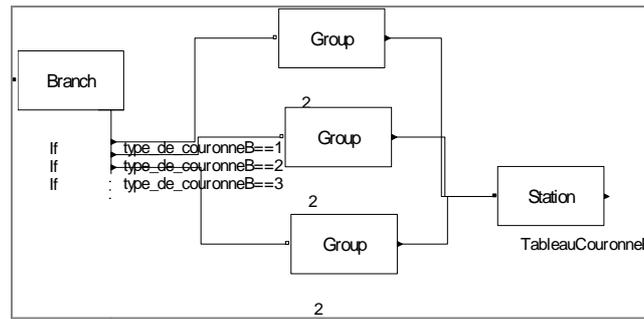


Figure 36. Arena® - Entrée Poste Couronne

Pour les Poste Couronnes il y a la différence de la cadence. Ce Poste peut fabriquer 200 couronnes par heure et la taille du lot est de 200 couronnes. Cela veut dire que quand un réducteur est fabriqué, il utilise une couronne mais il ne doit pas envoyer l'étiquette au poste jusqu'à l'autre pièce dans son container qui déjà est consommée. Pour simuler cette situation, nous avons utilisé un bloc *BRANCH* et après un bloc *Group* pour chaque type de couronne. Le bloc *Group* laisse passer les couronnes seulement si deux couronnes du même type arrivent. Les deux couronnes sont ensemble jusqu'à ce qu'elles sortent au moment où elles seront séparées de nouveau avec le bloc *SPLIT*.

Pour pouvoir faire toujours le groupe de deux couronnes, quand ils arrivent a le système (Produit en cours et planning d'étiquettes) grâce à le block *ARRIVAL*. Multiplié par deux ils arrivent toujours au block *BRANCH*.

## 8. Simulation Arena® – Animation

La figure suivante montre ce que donne la partie qui concerne l’animation du modèle. On retrouve les 5 postes de travail avec leurs différentes queues et les indicateurs de pièces fabriquées.

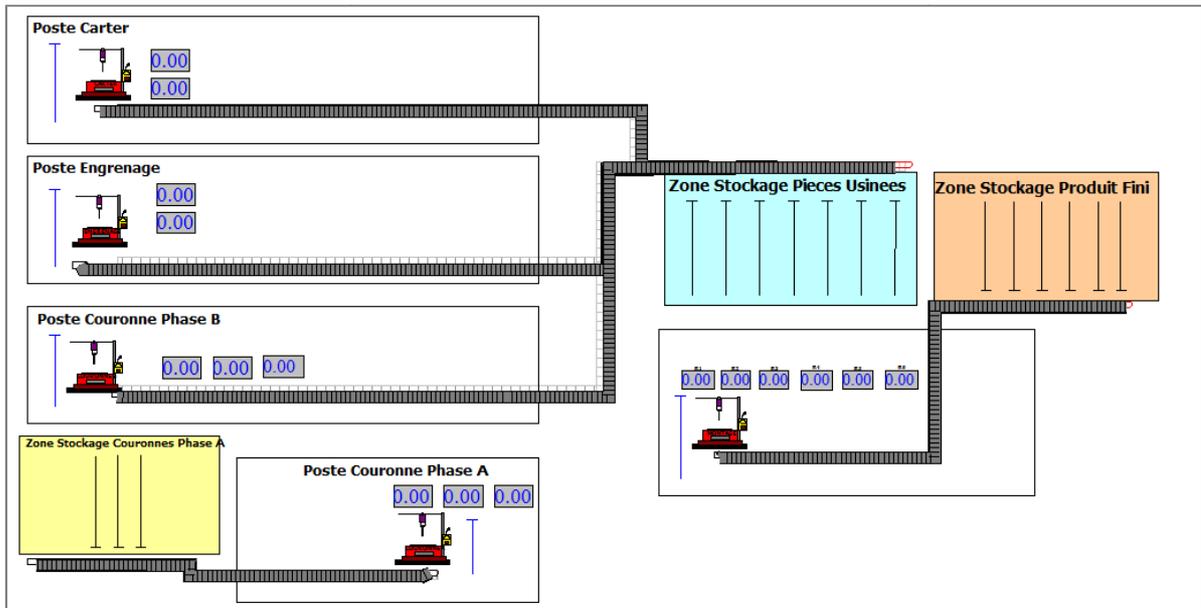


Figure 37. Arena® -Animation MRP

Les parties réellement animées du modèle sont les entités : les carters, les engrenages, les couronnes et les réducteurs et les machines de chaque poste.

On décide de représenter par différentes couleurs et formes les entités et d’animer les différents états de machine.

R1	CAV	CB
R2	CAB	CR
R3	CAR	EJ
R4	CBR	EB
R5	CBB	
R6	CBV	

Figure 38. Arena® - Entités

Les différents états des postes de travail :

- **Idle** : le poste est en attente, la ressource correspondante n'est pas réservée par une entité.
- **Occupe** : le poste est entrain de fonctionner, la ressource correspondante est réservée par une entité.
- **En\_reglage** : le poste est en train de régler la machine due que le type de pièce a changée.
- **En\_Panne** : la ressource est non disponible temporairement, ce qui modélise en général un panne du poste.
- **Manque d'approvisionnement** : La ressource ne peut pas fabriquer due à que la matière n'est pas disponible. Cet état est seulement pour le poste montage et le poste Couronnes Phase B.

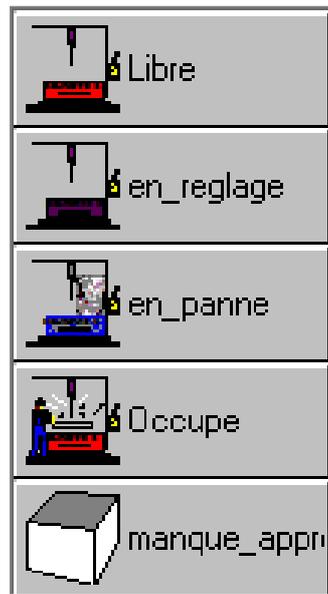


Figure 39. Arena® – Etats de la machine

Les zones de stockage sont les queues des sorties dw chaque poste, et le transfert sont les segments que vont de chaque post à le sortie des mêmes.

Finalement on trouve des compteurs pour savoir combien de pièces a fabriqué chaque poste.

## 9. Simulation Arena® – Visual Basic

---

On a créé une interface en Visual Basic afin de faciliter le paramétrage du modèle.

L'interface est utilisée pour plusieurs raisons :

1. Entrée des paramètres de l'utilisateur : Au début de la simulation, Arena® cherche quelques paramètres dans le fichier Excel qui se trouve dans le même dossier. Ces paramètres sont :
  - a. Stock initial des pièces et réducteurs. (*feuille 1, SI*)
  - b. Pour la phase MRP, ordres de fabrication pour chaque heure (*feuille 2, planning*)
  - c. Nombre de réducteurs non livrés au début de la simulation.
2. Sortie des paramètres pour l'utilisateur : A la fin de la simulation, Arena® envoie les résultats qui sont intéressants pour l'utilisateur dans le même fichier Excel mis à la (*feuille 2 (MRP), feuille 3(KANBAN)*) (Voir Annexe V)
3. Cartes d'information : Chaque fois qu'il y a une carte d'information, la simulation s'arrête et la carte d'information apparaît. Les cartes d'information sont à l'annexe (Voir Annexe X)
4. Incidents : Chaque fois qu'il y a un incident, Arena® regarde la liste d'incidents du poste où il y a l'incident et sélectionne aléatoirement un. Après l'arrêt, la simulation et un message d'accident et son information apparaît. Pour les accidents et les cartes nous avons utilisé un bloc VBA avec un élément *ARRIVAL* chaque heure. (Voir Annexe XI et XII)
5. Ventes : Il apparaît un message pour chaque vente et la simulation s'arrête. A plus, pour les semaines à lesquelles les ventes sont réparties (S6, S7, S8) Les tailles de vente de chaque heure sont dans l'interface Visual Basic.

## 10. Simulation Arena® – Les incidents

---

Pour simuler les incidents nous avons décidé de déterminer la durée de l'incident avec distributions de probabilité.

Dans le dossier de direction du jeu Kanban, il y a le nombre moyen d'incidents par mois et ils sont classés en fonction de la durée de l'arrêt pour chaque Poste. Grâce à ces informations, nous avons calculé les distributions statistiques de la durée d'incident de chaque poste.

L'Input Processor d'arena® permet de déterminer automatiquement, à partir d'un fichier historique, la loi mathématique théorique la plus proche du phénomène observé. Ceci permet d'obtenir simplement une modélisation rigoureuse des comportements aléatoires difficiles à intégrer à partir d'un échantillon collecté.

Dans l'ANNEX XIII nous pouvons regarder les distributions de chaque poste et son erreur quadratique pour pouvoir valider la distribution. Ces distributions sont celles que nous avons utilisées pour les 4 premières semaines. La durée des incidents après est toujours suivre une loi discrète en laquelle la durée de l'incident est de 0 ou 1 heure également, dû à l'adaptation du jeu et la prévention de ces semaines

Pour le temps entre incidents nous avons calculé le temps moyen entre pannes (MTBF). Le MTBF est un valeur qu'indique la fiabilité d'un composant d'un produit ou d'un système. C'est la moyenne arithmétique du temps entre pannes d'un système réparable.

$$MTBF = \sum \frac{(\text{temps de fonctionnement} + \text{temps de panne})}{\text{nombre de pannes}}$$

Dans l'ANNEX XIV il y a le calcul de MTBF de chaque poste. Le temps entre pannes aussi comme le durée des pannes sont les paramètres que on doit mettre dans le bloc *FAILURES*.

# Conclusions

---

Ce projet m'aide à comprendre les concepts de la simulation des systèmes à événements discrets comme le système Kanban.

J'ai découvert qu'une installation en place n'est pas toujours suffisante pour réaliser le travail attendu. Il est donc souvent nécessaire de réaliser des améliorations sur les temps de changement et de productions des éléments d'une chaîne de production. En effet, les temps de changement peuvent représenter une part très importante du temps de travail, surtout quand il y a énormément de types de produits différents qui nécessitent d'être usinés à tour de rôle.

D'un autre côté, j'ai apprécié de découvrir le logiciel Arena® mais surtout d'apprendre à l'utiliser pour exploiter les possibilités qu'il offre. Les quelques exemples de problèmes opérationnels que j'ai eu à traiter pour m'adapter au logiciel ont été très intéressants.

Une fois le modèle conçu, on réalise aisément la puissance de la simulation, qui a permis de résoudre rapidement un problème qui serait extrêmement difficile à résoudre par le calcul.

Je peux conclure, en disant que ce projet a enrichi mes connaissances touchant aux méthodes de gestion en entreprise. De plus, cela m'a permis d'acquérir des connaissances dans le domaine de la simulation.

# Bibliographie

---

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI, D.A. *Simulation with Arena®*.  
New York, NY: McGraw-Hill, 1998, 631p. ISBN: 0075612593

FABREGAS ALDO, et al. *Simulaciones de sistemas productivos con Arena®*.  
Barranquilla: Ediciones Uninorte, 2003, 208p. ISBN: 9588133246

LAMOURI, Samir, THOMAS André. *Juste à temps et qualité totale: concepts et outils*.  
Techniques de l'Ingénieur, traité l'Entreprise industrielle

GREIF, M., MOISY, C., PESNEL, E., *Guide du Kanban*. Paris : CIPE Editions, 1985.  
ISBN: 3597512 - 2562112

## Sites d'internet:

Site d'Arena® de Rockwell Software (<http://www.Arena®simulation.com/>)

